

12635-67

С С С Р
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 12635—67

**МАТЕРИАЛЫ МАГНИТНОМЯГКИЕ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ**

**МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ
от 10 кгц до 1 Мгц**

Издание официальное

МОСКВА



СССР	ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ	ГОСТ 12635—67
Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР	МАТЕРИАЛЫ МАГНИТНОМЯГКИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ Методы испытаний в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц High frequency magnet malleable materials. Testing methods at the range from 10 кГц to 1 мГц	<i>Б89</i> Группа Д99

Настоящий стандарт распространяется на высокочастотные магнитномягкие материалы — магнитодиэлектрики (на основе карбонильного железа и альсиферов) и ферриты и устанавливает методы определения их магнитных характеристик при намагничивании переменным периодическим магнитным полем в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц.

Стандарт не устанавливает методов испытаний ферритов с прямоугольной петлей гистерезиса, а также методов испытаний в импульсном режиме.

Устанавливаются следующие методы определений магнитных характеристик:

- мостовой,
- резонансный,
- индукционный,

метод биений (только для определения температурного коэффициента магнитной проницаемости).

Характеристики каждого метода приведены в таблице, а перечень буквенных обозначений в формулах таблицы — в приложении 1.

Выбор метода определения магнитных характеристик предусматривается в стандартах и технической документации на магнитомягкие материалы.

Все величины при подстановке в формулы настоящего стандарта должны быть выражены в единицах Международной системы по ГОСТ 9867—61.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Отбор и подготовка образцов к испытаниям.

1.1.1. Образцы для испытаний при определении характеристик ферромагнитных материалов должны иметь колышевую форму. Размеры колец должны соответствовать чувствительности измерительной аппаратуры.

Утвержден Комитетом стандартов,
мер и измерительных приборов
при Совете Министров СССР
16/II 1967 г.

Срок введения
1/1 1969 г.

1.1.2. Перед нанесением обмотки на кольца их диаметр и толщина должны быть измерены с погрешностью измерения не более $\pm 0,1$ мм. При определении удельных потерь образец, кроме того, должен быть взвешен с погрешностью не более $\pm 0,5\%$.

1.1.3. По размерам образцов подсчитывают гармонический D_r и средний D_{cp} диаметры и площадь поперечного сечения S по формулам:

$$D_r = \frac{D_h - D_a}{\ln \frac{D_h}{D_a}}, \quad (1)$$

$$D_{cp} = \frac{D_h + D_a}{2}, \quad (2)$$

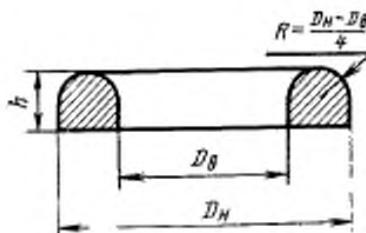
а) для образцов прямоугольного сечения:

$$S = \frac{D_h - D_a}{2} h, \quad (3)$$

б) для образцов с сердечниками из альсиферов, форма которых изображена на черт. 1:

$$S = \frac{\pi}{2} \left(\frac{D_h - D_a}{4} \right)^2 + \frac{D_h - D_a}{2} \left(h - \frac{D_h - D_a}{4} \right). \quad (4)$$

Форма образца с сердечниками из альсиферов



Черт. 1

Материалы магнитомягкие высокочастотные. Методы испытаний в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц

ГОСТ 12635-67

Характеристика методов испытаний

Название метода	Принцип измерения		Характеристика методов испытаний		Погрешность*
	частота, кГц	издражениености магнитного поля, м/д	Определение зондом	Применение определенных величин	
1. Мостовой метод	10 - 1000	10 ⁻¹ - 100	$\mu' (L)$	$\mu' = 10 - 10000$	$\frac{\Delta \mu'}{\mu'} < 5\% ; \left(\frac{\Delta L_x}{L_x} < 1\% \right)$
			$\lg \delta_p (r_a, L)$	$\lg \delta_p \rightarrow 10^{-3} - 1$ $q_r \geq 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ам/а}$ $q_a \sim 1 \cdot 10^{-9} \text{ л/рад}$	$\frac{\Delta \lg \delta_p}{\lg \delta_p} < 8\% ; \left(\frac{\Delta r_a}{r_a} < 5\% \right)$ $\frac{\Delta q}{q} < 20\% ; \left(\frac{\Delta r_x}{r_x} < 1\% \right)$
2. Резонансный метод	10 - 1000	Неопределены	$\mu' (L)$	$\mu' = 10 - 10000$	$\frac{\Delta \mu'}{\mu'} < 10\% , \left(\frac{\Delta L_x}{L_x} < 6\% \right)$

ГОСТ 12635—67

Материалы магнитомягкие высокочастотные. Методы испытаний в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц

Продолжение

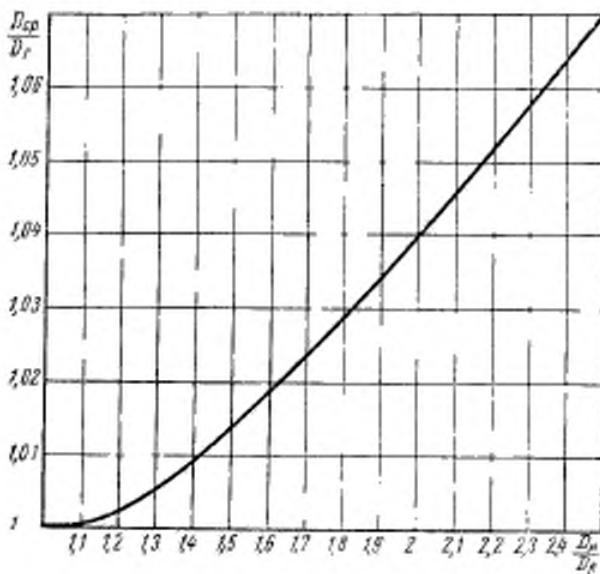
Назначение метода	Продел измерения по частоте, кГц		Определение напряженности магнитного поля, $\mu_{\text{н}}$	Пределы отсчетов на датчике	Погрешность*
	нижний	верхний			
3. Индукционный метод	10—1000	1—5000	$\mu_{\text{н}} = \frac{\lg \delta_{\text{н}}(Q)}{\lg \delta_{\text{н}}(Q)}$ β_1, β_2	$\lg \delta_{\text{н}} \approx 10^{-3} - 10^{-1}$ $\beta_1 > 5 \cdot 10^{-3} \text{ л/рад}$	$\frac{\Delta \lg \delta_{\text{н}}}{\lg \delta_{\text{н}}} \leq 30\%; \left(\frac{\Delta Q}{Q} \leq 10\% \right)$ $\frac{\beta_1}{\Delta \beta_1} \leq 20\%$
4. Метод близости	100—1000	Неопределенный	$\mu_{\text{н}} = F(f, t)$ $\lg \delta_{\text{н}} = F(f, t)$ $B_{\text{max}} = (10^{-5} - 10^{-1}) \text{ м.д.}$	$\beta_2 > 1 \cdot 10^{-2} \text{ л/рад}$ $B_{\text{max}} \sim 10^{-5} - 10^{-1} \text{ м.д.}$	$\frac{\Delta B_{\text{max}}}{B_{\text{max}}} \leq 15\%$
			ρ	$\mu_{\text{н}} \approx 10 - 10000$ $\rho \cdot (10^{-3} - 10^2) \text{ см/к2}$	$\frac{\Delta \mu_{\text{н}}}{\mu_{\text{н}}} \leq 20\%$ $\frac{\Delta \rho}{\rho} \leq 30\%$

* При многошариковом намагничивании.

** Зависят от типа измерителя, частоты и Z обратца.

Подсчет магнитных характеристик производят по гармоническому диаметру D_r . В зависимости от требуемой точности измерений и радиальной толщины образца, характеризуемой отношением $\frac{D_h}{D_s}$, гармонический диаметр D_r может быть заменен средним D_{cp} . График зависимости отношения среднего диаметра к гармоническому для разных отношений наружного диаметра к внутреннему приведен на черт. 2.

График зависимости отношения среднего диаметра к гармоническому от отношения диаметров образцов



Черт. 2

Относительную погрешность определения среднего и гармонического диаметров образца подсчитывают по формулам:

$$\frac{\Delta D_{cp}}{D_{cp}} = \frac{2\Delta D}{D_h + D_s}, \quad (5)$$

$$\frac{\Delta D_r}{D_r} = \frac{2\Delta D}{D_h - D_s} + \frac{D_h}{D_s} \cdot \frac{2\Delta D}{D_h}. \quad (6)$$

1.1.4. Относительную погрешность определения площади поперечного сечения образца подсчитывают по формулам:

а) для образцов прямоугольного сечения:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{2\Delta D}{D_n - D_s} + \frac{\Delta h}{h}, \quad (7)$$

б) для образцов, форма которых изображена на черт. 1:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\frac{\pi}{8}(D_n - D_s)\Delta D + \frac{D_n - D_s}{2}\left(\Delta h + \frac{\Delta D}{2}\right) + \Delta D\left(h - \frac{D_n - D_s}{4}\right)}{S}. \quad (8)$$

Если размеры образцов соответствуют размерам, приведенным в ГОСТ 8763—58, то при измерении D_n , D_s и h с погрешностью, не превышающей 0,1 мм, наибольшая относительная погрешность определения D_{ep} лежит в пределах от 0,2 до 1%, D_T — от 1 до 3%, а S — от 2 до 7%.

1.1.5. Выбор марки провода для обмотки, наматываемой на образец, зависит от вида определяемой характеристики (магнитная проницаемость, угол потерь, температурный коэффициент магнитной проницаемости и т. п.) и типа испытываемого материала. При определении тангенса угла потерь и коэффициентов потерь сердечников из карбонильного железа, альсиферов и ферритов с низкой магнитной проницаемостью, обладающих малыми потерями при частотах выше 300 кГц, для того чтобы сопротивление обмотки образца незначительно изменялось с изменением частоты, необходимо обмотку выполнять из многожильного провода (литцендрата) марок ЛЭШО $12 \times 0,07$ и ЛЭШО $21 \times 0,05$. При частотах до 300 кГц обмотку допускается выполнять одноожильным медным проводом диаметром не выше 0,25 мм.

Примечание. При многовитковом намагничивании во избежание порчи изоляции обмотки на образец после измерения его геометрических размеров и взвешивания наносят слой изоляционного материала (фторопластовую ленту, конденсаторную бумагу) толщиной около 0,1 мм, а поверх этого слоя — обмотку с нужным числом витков.

1.1.6. Перед испытаниями образец подвергают размагничиванию через обмотку, питаемую током частотой 50 Гц с постепенно убывающей амплитудой. Начальная амплитуда размагничивающего поля должна превышать коэрцитивную силу материала не менее чем в 50 раз. Максимальная амплитуда размагничивающего поля не должна превышать наименьшего значения напряженности поля, при которой производят измерения магнитных характеристик.

Время выдержки образцов после размагничивания до начала измерений магнитных характеристик устанавливают в зависимости от вида материала и его магнитной проницаемости. Магнитодиэлектрики на основе карбонильного железа выдержке после размагничивания не подвергают, для альсиферов время выдержки должно быть 10 мин. Для марганец-цинковых ферритов марки НМ время выдержки должно быть 24 ч, для никель-цинковых ферритов марки НН—не менее 3 ч.

В особо ответственных случаях измерений рекомендуется размагничивать ферриты марок: 150ВЧ, 100ВЧ, 50ВЧ2, 30ВЧ2 и 20ВЧ нагревом до температуры выше точки Кюри.

1.2. Условия измерений и аппаратура.

1.2.1. Испытания образцов производят при температуре окружающего воздуха $298 \pm 10^{\circ}\text{K}$ ($25 \pm 10^{\circ}\text{C}$), относительной влажности воздуха до 80% и атмосферном давлении $100000 \pm 4000 \text{ н/м}^2$ ($750 \pm 30 \text{ мм рт. ст.}$).

При определении магнитных характеристик материалов, обладающих температурными коэффициентами β_1 и β_2 выше $1 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град}$, необходимо вносить поправки, вычисленные по формулам:

$$\mu'_{25} = \frac{\mu'_t}{1 + \beta_1(t - 25)}, \quad (9)$$

$$\operatorname{tg}\delta_{25} = \frac{\operatorname{tg}\delta_t}{1 + \beta_2(t - 25)}, \quad (10)$$

где μ_{25} и $\operatorname{tg}\delta_{25}$ — характеристики материала, определенные при температуре 25°C .

1.2.2. Для испытаний магнитомягких материалов в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц используется следующая измерительная аппаратура:

- а) мосты (приложение 2);
- б) измерители добротности;
- в) амперметры, миллиамперметры и микроамперметры (приложение 3);
- г) вольтметры и милливольтметры (приложение 4).

1.2.3. В качестве измерительной аппаратуры для измерения характеристик магнитомягких материалов мостовым методом допускается использование мостовых установок, изготовленных по любым схемам или собранных из отдельных элементов, но обеспечивающих возможность производить измерения величин, указанных в таблице.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

2.1. Мостовой метод

2.1.1. При мостовом методе определения перечисленных в таблице характеристик измеряют индуктивность L_x или взаимную индуктивность M_x и сопротивление r_x намагничивающего устройства с кольцевым сердечником из испытываемого ферромагнитного материала и подсчитывают магнитные характеристики по соответствующим формулам.

2.1.2. Для намагничивания применяют многовитковую обмотку. Число витков многовитковой обмотки w_1 выбирают в зависимости от марки испытываемого материала, размеров образца, требуемой напряженности магнитного поля и пределов измерения аппарата для определения индуктивности по формуле:

$$w_1 = \sqrt{\frac{L_x D_{cp} \cdot 10^7}{48\mu'}}, \quad (11)$$

где L_x — индуктивность обмотки с образцом.

2.1.3. При испытаниях образцов на мосте взаимной индуктивности на образец должны быть нанесены две обмотки, выполняемые двойным проводом. Подсчет числа двойных витков w производят по формуле:

$$w = \sqrt{\frac{M_x D_{cp} 10^7}{48\mu'}}, \quad (12)$$

где M_x — взаимная индуктивность между обмотками образца (выбирается в зависимости от пределов аппарата для измерения взаимной индуктивности).

2.1.4. При проведении испытаний обмотку или намагничивающее устройство испытываемого образца присоединяют к мосту и уравновешивают его с помощью регулируемых элементов при заданных нормативными документами на соответствующий ферромагнитный материал значениях напряженности магнитного поля и частоты. Из уравнений равновесия моста определяют индуктивность или взаимную индуктивность между обмотками образца и сопротивление образца. После введения необходимых поправок подсчитывают магнитную проницаемость и тангенс угла потерь материала образца.

2.1.5. Коэффициент потерь на гистерезис ϱ_r определяют измерением тангенса угла потерь при двух-трех значениях

напряженности магнитного поля и при одной частоте в области линейной зависимости тангенса угла потерь от напряженности магнитного поля.

2.1.6. Коэффициент частотных потерь (в том числе на вихревые токи) ϱ_f определяют измерением тангенса угла потерь при двух-трех частотах и при одном и том же значении напряженности магнитного поля в области линейной зависимости тангенса угла потерь от частоты.

Рекомендуется для образцов из карбонильного железа проводить испытания в диапазоне частот от 100 кГц до 1 МГц; для образцов из альсифера - от 100 до 300 кГц.

2.1.7. Коэффициент дополнительных потерь $\varrho_d \geq 1.10^{-3}$ определяют как разность между тангенсом угла потерь материала и суммой тангенсов угла потерь на гистерезис и частотных.

2.1.8. Коэффициент дополнительных потерь ϱ_d материалов с малым его значением (порядка 1.10^{-4}) определяют с помощью моста по схеме со взаимной индуктивностью, измеряя тангенс угла потерь образца на двух частотах при одном и том же значении напряженности магнитного поля, и на основании этих двух измерений определяют составляющую тангенса угла потерь, не зависящую от частоты. Вычитая из полученной величины $\operatorname{tg}\delta_r$, обусловленный потерями на гистерезис, определяют коэффициент дополнительных потерь.

2.1.9. Обратную магнитную проницаемость μ_{ab} определяют, нанося на образец дополнительную обмотку намагничивания постоянным током, с которой последовательно включают регулировочные реостаты, амперметр для измерений силы постоянного тока I_a , дроссель и источник питания.

Число витков обмотки подсчитывают по формуле:

$$w = \frac{\pi D_r}{I_a} \cdot H .. \quad (13)$$

2.1.10. Удельные потери материала p определяют на основании измерения сопротивления потерь образца с помощью моста и измерения силы тока в намагничающей обмотке образца.

2.1.11. Температурные коэффициенты магнитной проницаемости β_1 и тангенса угла потерь β_2 определяют по изменению индуктивности и сопротивления образца с намагничающим устройством при изменении его температуры. Для определения $\beta_1 \geq 0.5 \cdot 10^{-3} 1/\text{град}$ и $\beta_2 \geq 2 \cdot 10^{-3} 1/\text{град}$ можно использовать любую мостовую схему для измерения индуктивности и сопротивления с погрешностью не выше 1% и

термокриостат, позволяющий создавать определенную температуру в заданном интервале с погрешностью не более 0,5 град. Для определения $\beta_1 = (0,02—0,5) \cdot 10^{-3}$ 1/град следует применять метод биений, описанный ниже.

2.1.12. Напряженность магнитного поля в испытываемом кольцевом образце подсчитывают по формулам:

$$\text{или } H_m = \frac{\omega_1 I'_m}{\pi D_f} \quad (14)$$

$$H_m = \frac{\omega_1 I'_m}{\pi D_{ep}}.$$

где I'_m — амплитудное значение намагничивающего тока в обмотке образца.

При синусоидальной форме кривой тока $I'_m = 1,41 I'$.

Для сердечников с отношением $\frac{D_h}{D_s}$ от 1,4 до 2,5 различие в значениях напряженности поля, подсчитанных по гармоническому и среднему диаметрам, составляет от 1 до 7%.

2.1.13. Силу тока измеряют с помощью амперметра (милли- или микроамперметра) или определяют путем измерения вольтметром (милливольтметром) падения напряжения на безреактивном сопротивлении. В качестве безреактивного сопротивления следует взять такое, реактивная составляющая которого не превышает 10% от полного сопротивления. При этом параметры измерительного прибора не должны влиять на условия равновесия моста.

Наличие собственной емкости C_L обмотки образца и активная составляющая тока, обусловленная потерями в образце, вносят погрешность и определение намагничивающего тока в обмотке. Поэтому значение намагничивающего тока в обмотке I' следует вычислять по формуле:

$$I' = \frac{I}{1 + \omega^2 L_x C_L} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \delta_L}}. \quad (15)$$

2.1.14. Собственную емкость, если магнитная проницаемость образца не зависит от частоты, определяют путем измерения индуктивности на двух частотах (при которых магнитная проницаемость постоянна) и одной и той же силе тока в обмотке образца и подсчитывают по формуле:

$$C_L = \frac{L_2 - L_1}{L_2 L_1 (\omega_2^2 - \omega_1^2)}. \quad (16)$$

Если магнитная проницаемость материала изменяется с частотой, то собственную емкость определяют путем нанесения такой же обмотки, как на испытываемом образце, на сердечник тех же размеров из неферромагнитного и неметаллического материала. Измерения индуктивности производят также на двух частотах и собственную емкость подсчитывают по формуле 16.

2.1.15. Наибольшую относительную погрешность определения H_m подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta H_m}{H_m} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta D_r}{D_r}. \quad (17)$$

При измерении тока приборами класса 0,5; 1,0; 1,5 погрешность $\frac{\Delta H_m}{H_m}$ лежит в пределах от 2 до 6%.

2.1.16. Подсчет действительной составляющей относительной магнитной проницаемости материала кольцевого образца производят по формулам:

$$\mu' = \frac{L'_x D_r 10^7}{4 S w^2} \quad (18)$$

или

$$\mu' = \frac{L'_x D_{cp} 10^7}{4 S w^2}; \quad (19)$$

$$\mu' = \frac{M_x D_r 10^7}{4 S w^2} \quad (20)$$

или

$$\mu' = \frac{M_x D_{cp} 10^7}{4 S w^2}, \quad (21)$$

где L'_x — индуктивность (с учетом поправки на собственную емкость) обмотки с образцом.

Индуктивность L'_x находят по формуле:

$$L'_x = L_x (1 - \omega^2 L_x C_L) = L_x (1 - A). \quad (22)$$

2.1.17. Наибольшую относительную погрешность определения магнитной проницаемости находят по формуле:

$$\frac{\Delta \mu'}{\mu'} = \frac{\Delta D_r}{D_r} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta L'_x}{L'_x}. \quad (23)$$

Погрешность определения L'_x включает в себя погрешность измерения индуктивности L_x , обусловленную погреш-

ностью измерительной аппаратуры, и погрешность поправки A за счет влияния собственной емкости обмотки.

Для образцов, проницаемость которых в рассматриваемой области частот не зависит от частоты, при измерении индуктивности с погрешностью не более 0,5% и частоты 0,05% (формула 16) погрешность определения собственной емкости обмотки составляет не более 10%. В противном случае эта погрешность может возрасти примерно до 20%.

Чтобы наибольшая относительная погрешность определения магнитной проницаемости не превысила 5%, погрешность измерения индуктивности должна быть менее 1% и наружный диаметр испытываемых образцов должен быть не менее 24 мм.

2.1.18. Погрешность определения магнитной проницаемости увеличивается за счет погрешности определения напряженности поля до значений $\frac{\Delta\mu_1}{\mu_1}$ в случаях, когда магнитная проницаемость материала зависит от напряженности магнитного поля и подсчитывается по формуле:

$$\frac{\Delta\mu_1}{\mu_1} = \frac{\Delta\mu^1}{\mu^1} + \alpha_\mu \Delta H_{\mu^1}. \quad (24)$$

2.1.19. Тангенс угла потерь материала подсчитывают по формуле:

$$\operatorname{tg}\delta_\mu = \frac{r_a}{\omega L_x}, \quad (25)$$

или (в случае многовитковой обмотки)

$$\operatorname{tg}\delta_\mu = \frac{r_a}{\omega L_x} = \frac{r'_x - r'_o}{\omega L_x}, \quad (26)$$

где:

r_a — сопротивление потерь, ом,

r_o — сопротивление обмотки с образцом (при заданной частоте с учетом поправки на собственную емкость обмотки), ом,

r'_x — активное сопротивление обмотки (измеренное на постоянном токе) с учетом поправки на влияние поверхностного эффекта при заданной частоте, ом.

Значение r'_x подсчитывают по формуле:

$$r'_x = r_x(1 - 2\omega^2 L_x C_L) = r_x(1 - 2A), \quad (27)$$

где r_x — сопротивление обмотки с образцом, измеренное при заданной частоте, ом.

Значение сопротивления r'_0 подсчитывают через измеренное значение сопротивления r_0 по формуле:

$$r'_0 = r_0 K_\omega , \quad (28)$$

где K_ω — поправочный член на влияние поверхностного эффекта.

Коэффициент K_ω зависит от частоты намагничивающего тока и марки провода. Его величина, т. е. отношение сопротивления провода r'_0 при заданной частоте к его сопротивлению r_0 , измеренному на постоянном токе, для литцендрата подсчитывают по формуле:

$$K_\omega = \frac{r'_0}{r_0} = N + K \left(\frac{n d_s}{d_0} \right)^2 G , \quad (29)$$

где:

N и G — коэффициенты, зависящие от x (для медного провода $x = 10,65 d_s \sqrt{f}$);

f — частота, Мгц;

d_s — диаметр отдельной проволоки литцендрата, мм;

n — число проволок провода;

d_0 — диаметр всего провода, мм;

K — коэффициент, зависящий от n .

В приложении 5 приведены графики зависимости коэффициентов N и G от x и K от n .

2.1.20. Наибольшую относительную погрешность определения тангенса угла потерь подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta \operatorname{tg} \delta_p}{\operatorname{tg} \delta_p} = \frac{\Delta r_n}{r_n} + \frac{\Delta \omega}{\omega} + \frac{\Delta L'_x}{L'_x} . \quad (30)$$

2.1.21. Абсолютную погрешность определения сопротивления потерь материала образца находят по формуле:

$$\Delta r_a = r_x \Delta (1 - 2A) + (1 - 2A) \Delta r_x + r_0 \Delta K_\omega + K_\omega \Delta r_0 . \quad (31)$$

Приложение. Чтобы наибольшая относительная погрешность определения тангенса угла магнитных потерь не превысила 8%, погрешность измерения индуктивности не должна превышать 1%, сопротивления потерь — 5% и частоты — 2%.

2.1.22. Коэффициент потерь на вихревые токи подсчитывают при $H_m = \text{const}$ по формуле:

$$\rho_a = \frac{\operatorname{tg} \delta_2 - \operatorname{tg} \delta_1}{f_2 - f_1} = \frac{1}{2\pi L} \cdot \frac{\frac{r_{n_2}}{f_2} - \frac{r_{n_1}}{f_1}}{f_2 - f_1} , \quad (32)$$

где $\operatorname{tg}\delta_2$ и $\operatorname{tg}\delta_1$, r_{n_2} и r_{n_1} — тангенсы угла потерь и сопротивления потерь соответственно при частотах f_2 и f_1 .

2.1.23. Коэффициент потерь на гистерезис при $f=\text{const}$ подсчитывают по формуле:

$$\rho_r = \frac{\operatorname{tg}\delta_2 - \operatorname{tg}\delta_1}{H_{m_2} - H_{m_1}} = \frac{r_{n_2} - r_{n_1}}{2\pi f L (H_{m_2} - H_{m_1})}, \quad (33)$$

где $\operatorname{tg}\delta_2$ и $\operatorname{tg}\delta_1$, r_{n_2} и r_{n_1} — тангенсы угла потерь и сопротивления потерь соответственно при напряженностих магнитного поля H_{m_2} и H_{m_1} .

2.1.24. Коэффициент дополнительных потерь $\rho_d \geq 1.10^{-3}$ подсчитывают по формуле:

$$\rho_d = \operatorname{tg}\delta_r - (\operatorname{tg}\delta_r + \operatorname{tg}\delta_n) = \operatorname{tg}\delta_r - \rho_r H_m - \rho_n f. \quad (34)$$

При измерениях на мосте взаимной индуктивности коэффициент дополнительных потерь $\rho_d \geq 1.10^{-4}$ (п. 2.1.8) подсчитывают по формуле:

$$\rho_d = \frac{\omega_2}{\omega_2 - \omega_1} \operatorname{tg}\delta_1 - \frac{\omega_1}{\omega_2 - \omega_1} \operatorname{tg}\delta_2 - \rho_r H_m, \quad (35)$$

где:

$\operatorname{tg}\delta_1$ и $\operatorname{tg}\delta_2$ — тангенсы угла потерь, измеренные соответственно при частотах f_1 и f_2 ;

H_m — напряженность поля, при которой проводились измерения, а/м.

2.1.25. Для получения значений коэффициентов потерь допускается применение графических методов, при этом по оси ординат откладывают значения тангенса угла потерь, а по оси абсцисс — значения частоты или напряженности магнитного поля.

Коэффициент частотных потерь характеризуется тангенсом угла наклона прямой, выражающей зависимость $\operatorname{tg}\delta_r = F_1(f)$, к оси абсцисс (черт. 3).

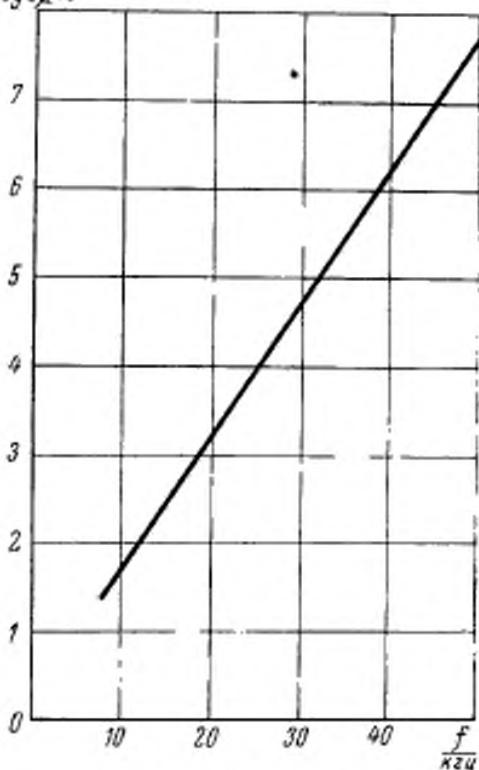
Коэффициент потерь на гистерезис характеризуется тангенсом угла наклона прямой, выражающей зависимость $\operatorname{tg}\delta_n = F_2(H_m)$, к оси абсцисс (черт. 4).

Коэффициент дополнительных потерь графически выражается отрезком на оси ординат, соответствующим $\operatorname{tg}\delta_d$ при $f=0$ и $H_m=0$ и отсекаемым при экстраполяции прямых $\operatorname{tg}\delta_r = F_1(f)$ или $\operatorname{tg}\delta_n = F_2(H_m)$.

Материалы магнитомягкие высокочастотные. Методы испытаний в диапазоне частот от 10 кГц до 1 МГц

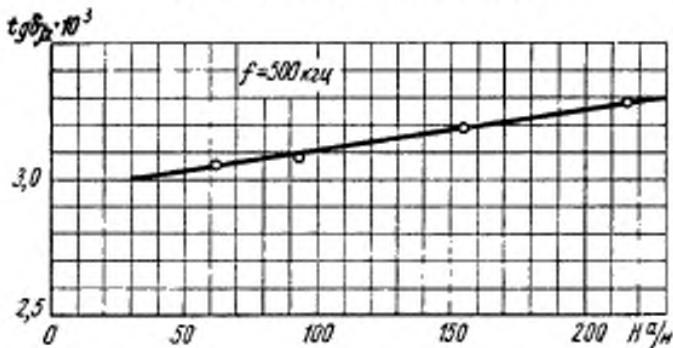
ГОСТ 12635—67

График зависимости тангенса угла потерь материала от частоты
 $\operatorname{tg}\delta_{\mu} \cdot 10^3$



Черт. 3

График зависимости тангенса угла потерь материала от напряженности магнитного поля



Черт. 4

2.1.26. Наибольшую относительную погрешность определения коэффициента частотных потерь (пренебрегая погрешностью измерения частоты) подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta Q_B}{Q_B} = \frac{\frac{1}{f_2} \Delta r_{B_2} + \frac{1}{f_1} \Delta r_{B_1}}{\frac{1}{f_2} r_{B_2} - \frac{1}{f_1} r_{B_1}}, \quad (36)$$

Наибольшую относительную погрешность определения коэффициента потерь на гистерезис подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta Q_T}{Q_T} = \frac{2\Delta r_T}{r_{T_2} - r_{T_1}} + \frac{\Delta H_{m_2} + \Delta H_{m_1}}{H_{m_2} - H_{m_1}} + \frac{\Delta L'_x}{L'_x}, \quad (37)$$

где r_{T_1} и r_{T_2} — сопротивления потерь, измеренные соответственно при напряженности поля H_{m_1} и H_{m_2} .

Наибольшая относительная погрешность определения коэффициента дополнительных потерь, подсчитываемого по формуле (34), выражается формулой:

$$\frac{\Delta Q_A}{Q_A} = \frac{\Delta g \Delta_k + \Delta Q_T H_m + Q_A \Delta H_m + f \Delta Q_B}{Q_A}. \quad (38)$$

При определении коэффициента Q_A с помощью моста взаимной индуктивности подсчет погрешности производят по формуле:

$$\frac{\Delta Q_A}{Q_A} = \frac{\Delta (Q_A + Q_T H_m) + \left(\frac{\Delta Q_T}{Q_T} + \frac{\Delta H_m}{H_m} \right) Q_T H_m}{Q_A}. \quad (39)$$

Погрешность члена $\Delta(Q_A + Q_T H_m)$ подсчитывают по формуле:

$$\Delta(Q_A + Q_T H_m) = \Delta H_m Q_T \frac{f_2 + f_1}{f_2 - f_1} + 2 \Delta C_3 \frac{f_2 \cdot f_1}{f_2 - f_1} 2\pi r_3, \quad (40)$$

где:

ΔC_3 — абсолютная погрешность емкости C_3 , уравновешивающей сопротивление потерь (приложение 2), ф;

r_3 — сопротивление одного из плеч моста взаимной индуктивности (приложение 2), ом;

ΔH_m — абсолютная погрешность напряженности магнитного поля, а/м.

2.1.27. Для того, чтобы погрешность определения коэффициентов потерь (особенно при их значениях $Q_s = 1.10^{-9} \text{ } 1/\text{Гц}$, $Q_f = 1.10^{-6} \text{ } \text{м/а}$, $Q_d = 1.10^{-4}$) не превышала 20%, погрешность измерения сопротивления должна быть не более 1% (см. таблицу).

Для снижения погрешности определения коэффициента частотных потерь (особенно при его численном значении порядка $1.10^{-9} \text{ } 1/\text{Гц}$) определение его должно производиться при частотах f_1 и f_2 , отличающихся друг от друга не менее чем в три раза.

Для снижения погрешности определения коэффициента потерь на гистерезис (особенно при его численном значении порядка $1.10^{-6} \text{ } \text{м/а}$) определение его должно производиться при напряженностях магнитного поля H_m и H_{m_1} , отличающихся друг от друга не менее чем в три раза.

2.1.28. Удельные потери в материале p на основании результатов измерений мостовым методом подсчитывают по формуле:

$$p = \frac{P}{m} = \frac{Pr_n}{m} = \frac{Pr_x' - r_o'}{m}. \quad (41)$$

2.1.29. Наибольшую относительную погрешность определения удельных потерь подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{2\Delta I}{I} + \frac{\Delta r_n}{r_n} + \frac{\Delta m}{m}. \quad (42)$$

Если измерять ток прибором класса 1,5, сопротивление потерь с погрешностью не выше 5% (см. таблицу) и взвешивать образец с погрешностью не более 0,5%, то $\frac{\Delta p}{p}$ не превышает 10%.

2.1.30. Подсчет температурного коэффициента магнитной проницаемости производят по формуле:

$$\beta_1 = \frac{\mu_2' - \mu_1'}{\mu_1'(t_2 - t_1)} \approx \frac{\mu_2' - \mu_1'}{\mu_{25}'(t_2 - t_1)}, \quad (43)$$

где: μ_1' и μ_2' — действительные составляющие относительной комплексной магнитной проницаемости испытуемого образца соответственно при температурах t_1 и t_2 , подсчитываемые на основании измерения индуктивности при температурах t_1 и t_2 ;

μ_{25}' — то же, при температуре 25°C.

2.1.31. Наибольшую относительную погрешность определения температурного коэффициента магнитной проницаемости подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta \beta_1}{\beta_1} = \frac{2\Delta \mu'_1}{\mu'_2 - \mu'_1} + \frac{\Delta \mu'_1}{\mu'_1} + \frac{2\Delta t_1}{t_2 - t_1}. \quad (44)$$

Для материалов, температурный коэффициент которых изменяется в зависимости от интервала температур, наибольший температурный интервал не должен превышать 30 град. С учетом того, чтобы погрешность β_1 не превышала 20% (см. таблицу), значение β_1 должно быть не менее $0,5 \cdot 10^{-3}$ 1/град и погрешность измерения температуры не должна превышать 0,5 град.

2.1.32. Температурный коэффициент тангенса угла потерь подсчитывают по формуле:

$$\beta_2 = \frac{\operatorname{tg} \delta_2 - \operatorname{tg} \delta_1}{\operatorname{tg} \delta_1 (t_2 - t_1)} = \frac{r_{n_2} - r_{n_1} \left(1 + \frac{L_2 - L_1}{L_1} \right)}{r_{n_1} (t_2 - t_1)}, \quad (45)$$

где:

r_{n_1} и r_{n_2} — сопротивления потерь обмотки с образцом соответственно при температурах t_1 и t_2 , ом;

L_1 и L_2 — индуктивности обмотки с образцом соответственно при температурах t_1 и t_2 , гн.

При подсчете r_n необходимо учитывать отличие сопротивления провода обмотки при данной температуре ($r_o)_t$ от его значения при нормальной температуре (r_o)₂₅, принимая во внимание, что:

$$(r_o)_t = (r_o)_{25} [1 + \alpha_t (1 - 25)]. \quad (46)$$

2.1.33. Наибольшую относительную погрешность температурного коэффициента тангенса угла потерь подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta \beta_2}{\beta_2} = \frac{2\Delta r_{n_2}}{r_{n_2} - r_{n_1}} + \frac{\Delta r_{n_1}}{r_{n_1}} + \frac{2\Delta t_1}{t_2 - t_1}. \quad (47)$$

При интервале температур 30 град, погрешности измерения температуры не более 0,5 град и измерении сопротивления r_x с погрешностью не выше 1% наибольшая погрешность определения температурного коэффициента тангенса угла потерь (при $\beta_2 \geq 2 \cdot 10^{-3}$ 1/град) составит не более 30%.

2.2. Резонансный метод

2.2.1. Резонансный метод определения перечисленных в таблице величин заключается в измерении с помощью изме-

рителя добротности (кумента) индуктивности L_x и добротности Q_x намагничивающего устройства с кольцевым сердечником из испытываемого ферромагнитного материала и последующем подсчете магнитных характеристик по соответствующим формулам.

В качестве намагничивающего устройства может применяться как многовитковая, так и одновитковая обмотка (одновитковая рамка, коаксиальный держатель, высокочастотный пермеаметр). Методы определения магнитных характеристик при одновитковом намагничивании аналогичны изложенным в ГОСТ 12636—67 «Материалы магнитомягкие высокочастотные. Методы испытаний на частотах от 1 до 200 МГц».

2.2.2. Число витков обмотки образца находят по формуле (11). В этом случае индуктивность испытываемого образца с многовитковой обмоткой находят по формуле:

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}, \quad (48)$$

где C — емкость конденсатора резонансного контура куметра, ϕ .

2.2.3. При испытании образца с многовитковой обмоткой после подключения обмотки к зажимам L_x куметра устанавливают нужную частоту и регулированием емкости резонансного контура добиваются максимального отклонения указателя шкалы добротности. Затем определяют индуктивность и добротность образца, по которым подсчитывают магнитную проницаемость и тангенс угла потерь образца (вместе с обмоткой).

2.2.4. Для определения температурных коэффициентов магнитной проницаемости и тангенса угла потерь материала измеряют индуктивность и добротность образца в температурном высокочастотном пермеаметре (п. 2.2.1) или в намагничивающем устройстве, помещенном в термокриостат, при двух или нескольких значениях температур в заданном диапазоне.

2.2.5. При многовитковой обмотке подсчет относительной магнитной проницаемости кольцевого образца производят по формуле (18) или (19).

2.2.6. Относительную погрешность индуктивности с помощью куметра определяют по формуле:

$$\frac{\Delta L_x}{L_x} = \frac{2\Delta f}{f} + \frac{\Delta C}{C}. \quad (49)$$

Если погрешность куметра по частоте не превышает $\pm 1\%$, а погрешность градуировки шкалы емкости лежит в пределах от 1 до 4% (в зависимости от величины емкости), наибольшая погрешность определения индуктивности составит 3—6% и действительной составляющей относительной магнитной проницаемости μ' — не более 10%.

2.2.7. Тангенс угла потерь материала образца подсчитывают по формуле:

$$\operatorname{tg}\delta_{\mu} = \frac{1}{Q_x} - \frac{r'_0}{\omega L'_x}, \quad (50)$$

где Q_x — добротность обмотки с образцом (отсчитывают непосредственно по шкале добротности куметра).

Член $\frac{r'_0}{\omega L'_x}$ обусловлен параметрами обмотки (п. 2.1.19).

2.2.8. Относительную погрешность определения тангенса угла магнитных потерь вычисляют по формуле:

$$\frac{\Delta \operatorname{tg}\delta_{\mu}}{\operatorname{tg}\delta_{\mu}} = \frac{\frac{\Delta Q}{Q^2} + \left(\frac{\Delta r'_0}{r'_0} + \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta L'_x}{L'_x} \right) \frac{r'_0}{\omega L'_x}}{\operatorname{tg}\delta_{\mu}}. \quad (51)$$

Если погрешность измерения добротности с помощью куметра не превышает 10%, наибольшая относительная погрешность определения тангенса угла магнитных потерь составит не более 30%.

2.2.9. Подсчет температурного коэффициента магнитной проницаемости β_1 производят по формуле (43) с учетом формул (18), (22) и (48).

Наибольшую относительную погрешность определения $\frac{\Delta \beta_1}{\beta_1}$ подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta \beta_1}{\beta_1} = \frac{2\Delta C}{C_1 - C_2} + \frac{\Delta C}{C_2} + \frac{2\Delta t}{t_2 - t_1}, \quad (52)$$

где C_1 и C_2 — емкости при резонансе, соответствующие температурам t_1 и t_2 , ϕ .

Примечание. При погрешности температуры не более $\pm 0,5$ град, интервале ее изменения 30 град и погрешности градуировки шкалы емкости куметра от 1 до 4% для определения температурного коэффициента магнитной проницаемости с погрешностью не более 20%, β_1 должно быть не менее $5 \cdot 10^{-3}$ 1/град.

2.2.10. Подсчет величины β_2 производят по формуле:

$$\beta_2 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2(t_2 - t_1)}, \quad (53)$$

где Q_1 и Q_2 — добротности, соответствующие температурам t_1 и t_2 .

2.2.11. Наибольшую относительную погрешность определения β_2 подсчитывают по формуле:

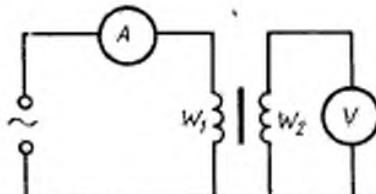
$$\frac{\Delta\beta_2}{\beta_2} = \frac{2\Delta Q}{Q_1 - Q_2} + \frac{\Delta Q_2}{Q_2} + \frac{2\Delta t}{t_2 - t_1}, \quad (54)$$

При погрешности температуры не более $\pm 0,5$ град, интервале ее изменения 30 град и погрешности градуировки шкалы добротности куметра $\pm 10\%$ для определения температурного коэффициента тангенса угла потерь β_2 с погрешностью, не превышающей 30%, величина β_2 должна быть не менее $1 \cdot 10^{-2}$ 1/град.

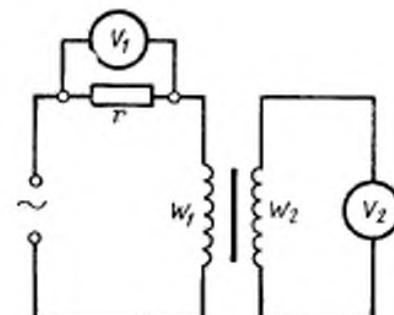
2.3. Индукционный метод

2.3.1. Индукционный метод определения перечисленных в таблице величин заключается в измерении намагничивающего тока в первичной обмотке образца, э. д. с., индуцированной в его вторичной обмотке, мощности (потерь в образце) и последующем подсчете магнитных характеристик по соответствующим формулам.

2.3.2. Силу тока, протекающего по первичной (намагничающей) обмотке образца, измеряют амперметром (черт. 5) или определяют с помощью вольтметра и безреактивного сопротивления (черт. 6).



Черт. 5



Черт. 6

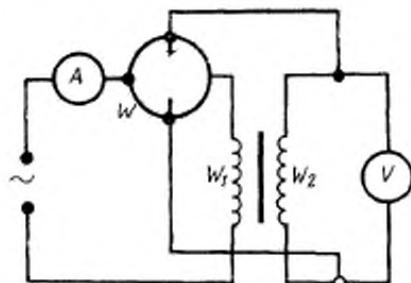
Примечание. В приложении 3 даны перечень соответствующих амперметров, миллиамперметров и микроамперметров и их основные технические характеристики.

2.3.3. Для подсчета максимального значения магнитной индукции измерение э. д. с., индуцированной во вторичной обмотке образца, должно производиться вольтметрами средних или действующих значений (при известном коэффициенте формы K_f).

Если форма кривой э. д. с., индуцированной во вторичной обмотке образца, синусоидальна, может быть применен любой вольтметр (действующих, амплитудных или средних значений), предназначенный для заданного диапазона частот.

Примечание. В приложении 4 даны перечень вольтметров и их основные технические характеристики.

2.3.4. Для определения зависимости потерь в образцах от амплитудного значения магнитной индукции или напряженности магнитного поля применяют ваттметровый метод в соответствии со схемой, изображенной на черт. 7. Эта же схема позволяет определять динамическую кривую намагничивания.



Черт. 7

2.3.5. На образец поверх изоляции должны быть нанесены две обмотки - намагничивающая и измерительная. Измерительную обмотку наносят равномерно распределенной или сосредоточенной в одном месте. Поверх измерительной обмотки наносят намагничивающую обмотку равномерно по всей длине окружности образца.

Число витков w_2 измерительной обмотки подсчитывают по формуле:

$$w_2 = \frac{U_{2ep}}{4fSB_{max}} = \frac{U_2}{4K_f f SB_{max}}, \quad (55)$$

где U_{2ep} и U_2 — напряжения на вторичной обмотке образца, в.

Число витков w_1 намагничивающей обмотки подсчитывают по формуле:

$$w_1 = \frac{\pi D_r H_{max}}{I_{max}}. \quad (56)$$

2.3.6. Для определения динамической кривой намагничивания материала испытуемого образца его обмотки включают в цепь в соответствии со схемой черт. 5 или 6.

Задавая последовательно требуемые значения (от меньших к большим) напряженности магнитного поля (пропорциональные силе тока в намагничивающей обмотке) и измеряя соответствующие им э. д. с., индуцированные в измерительной обмотке образца, определяют динамическую кривую намагничивания материала образца.

2.3.7. Если требуется определить динамическую кривую намагничивания и потери, измерения производят по схеме черт. 7.

Задавая последовательно значения напряженности магнитного поля (по силе тока в намагничивающей обмотке) или магнитной индукции (по э. д. с., индуцированной в измерительной обмотке) и измеряя соответствующие им значения мощности (ваттметром), получают зависимость потерь в образце от напряженности магнитного поля или магнитной индукции.

2.3.8. Напряженность магнитного поля (максимальное значение) подсчитывают по формуле:

$$H_{max} = \frac{I_{max} w_1}{\pi D_r}. \quad (57)$$

2.3.9. Погрешность определения напряженности магнитного поля лежит в пределах от 2 до 6% в зависимости от класса измерительного прибора.

2.3.10. Максимальное значение магнитной индукции подсчитывают по формуле:

$$B_{max} = \frac{U_{2ep}}{4fSB_{max}} = \frac{U_2}{4K_f f SB_{max}}. \quad (58)$$

2.3.11. Наибольшую относительную погрешность определения магнитной индукции подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta B_{\max}}{B_{\max}} = \frac{\Delta U_2}{U_2} + \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta K_f}{K_f} = \\ = \frac{\Delta U_{\text{ср}}}{U_{\text{ср}}} + \frac{\Delta f}{f} + \frac{\Delta S}{S}. \quad (59)$$

Примечание. Если наибольшая относительная погрешность определения площади поперечного сечения составит от 2 до 7%, погрешность частоты (большинства генераторов без кварцевых резонаторов) 2%, погрешность измерения напряжения 3-5%, погрешность определения коэффициента формы кривой вторичной э. д. с. — около 3%, то наибольшая относительная погрешность определения магнитной индукции B_{\max} лежит в пределах от 10 до 15%.

2.3.12. На основании полученных значений магнитной индукции и напряженности магнитного поля могут быть построены динамические кривые намагничивания вида:

$$B_{\max} = f(H_{\max}), \quad B_{\max} = f(H_m), \quad B_{\max} = f(H), \\ B_m = f(H_m), \quad B_m = f(H_{\max}), \quad B_m = f(H).$$

По этим же данным может быть получена зависимость относительной амплитудной магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля $\mu_r = f(H_m)$, подсчитываемой по формуле:

$$\mu_r = \frac{B_m}{\mu_0 H_m}. \quad (60)$$

2.3.13. Наибольшая погрешность определения относительной амплитудной магнитной проницаемости μ_r при точностях измерения H_m и B_m , указанных в пп. 2.3.9 и 2.3.11, лежит в пределах от 10 до 20%.

2.3.14. Подсчет удельных потерь в материале образца производят по формуле:

$$P = \frac{P}{m} = \frac{1}{m} \left(\frac{w_1}{w_2} P_1 - \frac{U_2^2}{r'_2} \right) \left(1 + \frac{r_2}{r'_2} \right), \quad (61)$$

где:

P_1 — мощность, измеренная с помощью ваттметра, вт;

r_2 — сопротивление вторичной обмотки, ом;

$$r'_2 = \frac{r_w \cdot r_v}{r_w + r_v},$$

r_w — сопротивление параллельной обмотки ваттметра, ом;

r_v — сопротивление вольтметра, ом.

При больших сопротивлениях r_v и r_w (когда $r'_2 \geq 100 r_2$) поправочным членом $\left(1 + \frac{r_2}{r'_2}\right)$ можно пренебречь.

2.3.15. Наибольшую относительную погрешность определения удельных потерь подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\frac{\Delta P_1}{P_1} + \frac{2U^2}{\frac{w_1}{w_2} P_1 r'_2} \cdot \frac{\Delta U}{U}}{1 - \frac{U^2}{\frac{w_1}{w_2} P_1 r'_2}} + \frac{\Delta m}{m}. \quad (62)$$

При измерении массы с погрешностью, не превышающей 0,5 %, применении ваттметров с погрешностью измерения мощности не более 15 % и вольтметров класса 2,5 наибольшая погрешность измерения удельных потерь составит 30 %.

2.4. Метод биений

2.4.1. Метод биений применяют для определения температурного коэффициента магнитной проницаемости β_1 при его малом численном значении ($\beta_1 \approx \pm 20 \cdot 10^{-5}$ 1/град).

Таким температурным коэффициентом магнитной проницаемости обладают, например, магнитодиэлектрики на основе карбонильного железа, ферриты с низкой магнитной проницаемостью (20 ВЧ).

2.4.2. Температурный коэффициент магнитной проницаемости определяют по изменению частоты генератора вследствие изменения под влиянием температуры индуктивности катушки с сердечником из испытуемого материала, включенной в контур измерительного генератора.

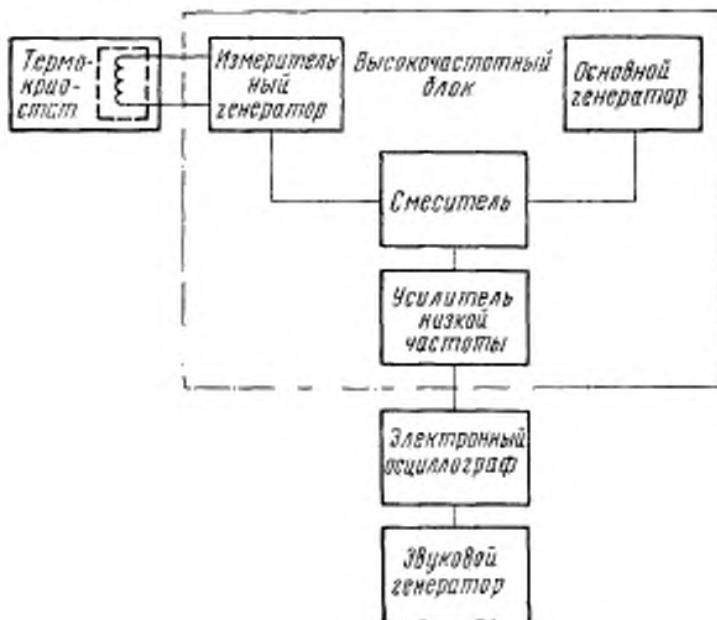
С помощью электронного осциллографа сравнивают разностную частоту, полученную при смещении колебаний двух высокочастотных генераторов (основного и измерительного), с частотой генератора звуковых частот.

2.4.3. Блок-схема, по которой осуществляют измерения β_1 методом биений, изображена на черт. 8.

Высокочастотный блок позволяет получать напряжения, частоты которых пропорциональны измеряемому коэффициенту β_1 . Этот блок включает в себя два высокочастотных генератора: измерительный и основной, смеситель и усилитель низкой частоты.

2.4.4. Частоту основного генератора выбирают равной требуемой частоте испытаний. Ввиду высоких требований к

генераторам в отношении стабильности их частот, основной генератор должен иметь кварцевый резонатор. Для повышения стабильности частоты измерительного и основного генератора они должны быть термостатированы, с тем, чтобы колебания температуры внутри термостата не превышали $\pm 0,5$ град. Конденсатор переменной емкости измерительного генератора должен обладать малым температурным коэффициентом (не больше $10 \cdot 10^{-6}$ 1/град).



Черт. 8

Генератор звуковых частот должен давать возможность производить отсчет частоты с точностью до 1 гц при изменении частоты не более 5 гц за 1 ч.

2.4.5. В зависимости от частоты основного (кварцевого) генератора, магнитной проницаемости материала испытываемого образца и пределов изменения емкости конденсатора C , входящего в контур измерительного генератора, подсчитывают число витков обмотки образца по формулам (11) и (48).

Если испытания проводят при температурах выше 373°К, провод для обмотки должен иметь эмалевую изоляцию.

2.4.6. Перед измерением образец с обмоткой высушивают при температуре 373°К в течение 1 ч (в отдельном термостате или в том же термокриостате, в котором производят измерения). Если измерения производят не непосредственно после просушки, до начала измерений образцы должны храниться в экскаторе.

2.4.7. Испытываемый образец с обмоткой включают в контур измерительного конденсатора. Если необходимо определять β_1 в широком интервале температур, измерения следует начинать с низких температур.

Задав на звуковом генераторе частоту, лежащую в середине его диапазона, изменением емкости конденсатора измерительного генератора добиваются остановки фигуры Лиссажу на экране осциллографа. Это означает, что разностная частота (измерительного и основного генераторов) равна частоте звукового генератора. Значение разностной частоты измеряют при каждой фиксированной температуре, устанавливаемой в термокриостате.

Если выбирать разностную частоту таким образом, чтобы увеличению емкости резонансного контура, в который включен испытываемый образец, соответствовало увеличение разностной частоты, то β_1 будет положительным в том случае, когда при увеличении температуры наблюдается увеличение разностной частоты, и наоборот.

2.4.8. Температурный коэффициент магнитной проницаемости подсчитывают по формуле:

$$\beta_1 = \pm \frac{2(f_2 - f_1)}{f(t_2 - t_1)}, \quad (63)$$

где:

f_1 и f_2 — значения разностных частот соответственно при температурах t_1 и t_2 , отсчитываемые по шкале генератора звуковых частот, гц;

f — частота основного генератора, гц.

2.4.9. Наибольшую относительную погрешность определения β_1 подсчитывают по формуле:

$$\frac{\Delta\beta_1}{\beta_1} = \frac{2\Delta f_1}{f_2 - f_1} + \frac{2M}{t_2 - t_1}, \quad (64)$$

Абсолютная погрешность Δf_1 измерения разностной частоты на выходе установки для определения β_1 не должна превышать 10 гц.

Примечание. При погрешности измерения температуры в термокриостате не более 0,5 град и интервале температур 30 град наибольшая относительная погрешность определения β_1 не превысит 20%.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 к ГОСТ 12635—67

ПЕРЕЧЕНЬ

основных буквенных обозначений, применяемых
в формулах настоящего стандарта

- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная;
 μ_r — относительная амплитудная магнитная проницаемость;
 μ' — действительная составляющая относительной комплексной магнитной проницаемости μ ;
 μ_{25}^r — то же, при температуре 25°C;
 μ'' — минимая составляющая относительной комплексной магнитной проницаемости μ ;
 μ_{ab} — относительная обратимая магнитная проницаемость;
 a_a — коэффициент амплитудной нестабильности проницаемости, m/a ;
 $\operatorname{tg}\delta_\mu$ — тангенс угла магнитных потерь;
 $\operatorname{tg}\delta_{25}$ — то же, при температуре 25°C;
 $\operatorname{tg}\delta_r$ — тангенс угла потерь на гистерезис;
 $\operatorname{tg}\delta_b$ — тангенс угла частотных потерь;
 α_r — коэффициент потерь на гистерезис, m/a ;
 α_a — коэффициент частотных потерь, $1/\omega$;
 α_b — коэффициент дополнительных потерь;
 β_1 — температурный коэффициент магнитной проницаемости, $1/\text{град}$;
 β_2 — температурный коэффициент тангенса угла магнитных потерь, $1/\text{град}$;
 P — полные потери, $вт$;
 p — удельные полные потери, $вт/кг$;
 B_m — максимальное значение синусоидальной кривой магнитной индукции, $тл$;
 B_{max} — максимальное значение искаженной кривой магнитной индукции, $тл$;
 H_m — максимальное значение синусоидальной кривой напряженности магнитного поля, $а/м$;
 H_{max} — максимальное значение искаженной кривой напряженности магнитного поля, $а/м$;
 H — действующее значение напряженности переменного магнитного поля, $а/м$;
 H_m — напряженность постоянного магнитного поля, $а/м$;
 I_m, I — сила постоянного тока и действующее значение силы переменного тока, $а$;
 I_m — максимальное значение синусоидальной кривой тока, $а$;
 I'_m — максимальное значение намагничивающего тока в обмотке образца, $а$;
 I_{max} — максимальное значение искаженной кривой тока, $а$;
 I' — намагничивающий ток, при учете потерь из-за собственной емкости обмотки и активной составляющей тока, обусловленной потерями в образце;

- U — действующее значение напряжения, в;

 U_m — максимальное значение синусоидальной кривой напряжения, в;

 U_{\max} — максимальное значение искаженной кривой напряжения, в;

 $U_{ср}$ — среднее значение напряжения, в;

 r — сопротивление переменному току, ом;

 r_0 — сопротивление обмотки постоянному току, ом;

 r_o — активное сопротивление обмотки при заданной частоте, ом;

 r_x — сопротивление обмотки с образцом, измеренное при заданной частоте, ом;

 r'_x — сопротивление обмотки с образцом (при заданной частоте с учетом поправки на собственную емкость обмотки), ом;

 r_n — сопротивление потерь материала, ом;

 a_f — относительный температурный коэффициент электрического сопротивления материала провода, 1/град;

 Z — полное сопротивление, ом;

 L — индуктивность, эн;

 L_x — индуктивность обмотки с образцом, эн;

 L'_x — индуктивность обмотки с образцом, с учетом собственной емкости, эн;

 M — взаимная индуктивность, эн;

 M_x — взаимная индуктивность между обмотками образца, эн;

 C — емкость, ф;

 C_L — собственная емкость обмотки образца, ф;

 Q — добротность;

 f — частота, герц;

 ω — круговая частота переменного тока;

 n — число витков намагничивающей обмотки, нанесенной на образец двойным проводом для образования двух обмоток при мостовом методе измерения;

 n_1 — число витков намагничивающей обмотки образца;

 n_2 — число витков измерительной обмотки образца;

 $D_a, D_s, D_{ср}, D_r$ — наружный, внутренний, средний и гармонический диаметры кольцевого образца, м;

 S — площадь поперечного сечения образца, м²;

 h — толщина образца, м;

 m — масса образца, кг;

 K_f — коэффициент формы кривой напряжения;

 $K_{нх}$ — коэффициент нелинейных искажений;

 K_a — коэффициент амплитуды;

 K_o — коэффициент зависимости активного сопротивления от частоты намагничивающего тока и марки провода (скин-эффект);

 t — температура по шкале Цельсия, °С.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 к ГОСТ 12635-67**ХАРАКТЕРИСТИКИ**

аппаратуры, применяемой при испытаниях образцов магнитомагнитных материалов мостовым методом

Назначение аппаратуры и ее параметров		Основные характеристики аппаратуры
Мост по резонансной схеме (измерительная установка УИМ-2, здесь: «Эталон»)	Мост по резонансной схеме (измерительная установка УИМ-2, здесь: «Эталон»)	Мост по схеме со взаимной индуктивностью (измерительная установка УИМ-1, здесь: «Эталон»)
Частотный диапазон, кГц	10—1000	10—1000
Погрешности аппаратурьи, %	1 для L_x 5 для r_x	0,3 для L_x 1 для r_x 10 для Q_d и Q_u
Магниты сопротивления:		
а) пределы	$(1-10^3)$ ом + реодоры на 1,1 ом	$(10^{-3}-10^3)$ ом, $r_o = 0,4$ ом
б) погрешность, %	0,1	0,1
в) дополнительные характеристики	—	$L_o \approx 0,4$ мкн, $\Delta L \leq 0,1$ мкн, Изменение сопротивления с частотой (до 1 Мц) не пре- вышает 0,1%
Постоянные со- противления:		
а) пределы, ом	$r_1 = r_2 = 100$	$r_3 = 150$; $r_4 = 314$

Продолжение

Основные характеристики аппаратуры			
Наименование аппаратуры и ее параметров	Мост по резонансной схеме (измерительная установка УИМ-2, звено „Эталон“)	Мост по разомкнутой схеме (измерительная установка УИМ-2, звено „Эталон“)	Мост по схеме со взвешенной индуктивностью (измерительная установка УИМ-1, звено „Эталон“)
6) погрешность, %	0,1 в) постоянные времена, с/к	0,05 $\leq 1 \cdot 10^{-8}$	0,05 $\leq 1 \cdot 10^{-8}$
Магазин емкости:			
а) пределы	(0,0001—1) мкФ	(50—11150) нФ—воззушные конденсаторы (0,01—1) мкФ—слюдяные конденсаторы	$C_1 = (50—10000) \text{ нФ}$ $C_3 = (20—1500) \text{ нФ}$
б) погрешность	0,1%	Воззушные конденсаторы: $0,05 \left(1 + \frac{100}{C} \right) \%$, где C —емкость в нФ	$0,05 \left(1 + \frac{100}{C_1} \right) \%$, где C —емкость в нФ (для C_1)
в) тангенс угла потерь конденсаторов	$\leq 5 \cdot 10^{-4}$	Слюдяные конденсаторы: 0,1% $\leq 5 \cdot 10^{-5}$ (для воззушных конденсаторов) $\leq 5 \cdot 10^{-4}$ (для слюдяных конденсаторов)	0,1% (для C_3) $\leq 5 \cdot 10^{-5}$ (для C_1) $\leq 1 \cdot 10^{-3}$ (для C_3)
Индикатор:			
а) чувствительность диф.МК8	0,2—1		0,2—1
			5

*Продолжение**Основные характеристики аппаратуры*

**Напоминание аппарата
и ее параметров**

Мост по резонансной схеме
(измерительная установка
УИМ-2,
 завод „Эталон“)

**б) избиратель-
ность, дБ**
Генератор:

а) выходная
мощность, Вт

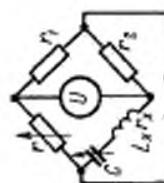
б) искажения, %
в) погрешность,
%

**Схемы и уравне-
ния равновесия**

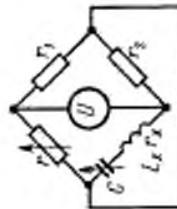
Мост по резонансной схеме
(измерительная установка
УИМ-2,
 завод „Эталон“)

50
50

10
 ≤ 1
0,01



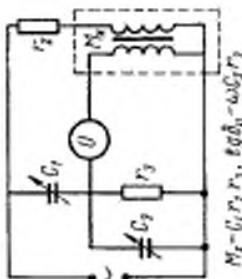
$$I_x = \frac{U}{\omega C_2}; R_x = r - \frac{R_2}{C_2}$$



$$L_x = \frac{1}{\omega C}; R_x = r - \frac{R_2}{C}$$

Мост по схеме со взаимной
индуктивностью (измерительная
установка УИМ-2, завод „Эталон“)

10
 ≤ 1
0,01



$$N_x = C_1 R_2; R_x = r - \frac{R_2}{C}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 к ГОСТ 12635-67

ПЕРЕЧЕНЬ

амперметров, миллиамперметров и микроамперметров и их основные характеристики

Тип прибора	Напряжение измерения	Погрешность и помехоустойчивость в диапазоне частот, %	Номинальный диапазон частот	Погрешность расширения частот в диапазоне частот, %	Расширенный диапазон частот	Система прибора	Дополнительные характеристики	
							15—40 $M\mu$ A	Термоэлектрическая
T13	1—3 μ A	1,5	50 μ A—15 $M\mu$ A	3	15—40 $M\mu$ A	Термоэлектрическая		
T15	10—30—50 μ A 100 μ A 300 μ A 5 μ A	1	20 μ A—25 $M\mu$ A 20 μ A—20 $M\mu$ A 20 μ A—10 $M\mu$ A	2	до 75 $M\mu$ A до 60 $M\mu$ A до 30 $M\mu$ A	Термоэлектрическая		
T15/I	5 μ A	1	20 μ A—25 $M\mu$ A	2	до 75 $M\mu$ A	Термоэлектрическая		
T18	0,5—1—2; 5 μ A	1,5	50 μ A—2 $M\mu$ A	3	2—5 $M\mu$ A	Термоэлектрическая		
T133	100—250—500— —1000 μ A	1,5	20 μ A—0,5 $M\mu$ A	3	0,5—1 $M\mu$ A	Термоэлектрическая		
Ф506	10—30—100— —300 μ A 1—3—10—30— —100—300 μ A	1,0	20 μ A—40 $K\mu$ A	2	40 $K\mu$ A—60 $K\mu$ A	Электронная		
Ф533	0,03—0,1—0,3—1— —3—10—30—100— —300—1000 μ A	0,5	40 μ A—20 $K\mu$ A	1	20 $K\mu$ A—50 $K\mu$ A	Электронная		
							$C_{tr} \leq 15 \text{ npf}$	
							$G_{tr} = 60 \text{ M}\Omega$	
							$U = 10—40 \text{ mV}$	
							$U = 0,3 \text{ e}$	

ПРИЛОЖЕНИЕ 4 к ГОСТ 12635—67

ПЕРЕЧЕНЬ

вольтметров и милливольтметров и их основные характеристики

Тип прибора	Протекающий измерения	Погрешность в измеряющем диапазоне частот, %	Помеходавливающий измерительный эффект	Погрешность в расширении измерительной полосы частот, %	Расширенный измерительный диапазон частот	Система прибора	Дополнительные характеристики		Примечание
							Частота в расширенном диапазоне частот, %	Соответствующий диапазон частот	
T16	0,75—1,5—3 μ А	1,5	20 зу— —20 Мэц	3	20— —40 Мэц	Термоэлектрический	$C_{\text{вх}} < 3,5 \text{ нФ}$, $I = 3 \text{ мА}$		
	7,5—15—30 μ А		20 зу— —15 Мэц				$r_{\text{вх}} = 10 \text{ кОм/с}$, $C_{\text{вх}} < 15 \text{ нФ}$		
T132	3—7,5—15— —30 μ А	1,5	20 зу— —200 кэц	3	0,2— —0,4 Мэц	Термоэлектрический	$r_{\text{вх}} = 10 \text{ кОм/с}$, $C_{\text{вх}} < 15 \text{ нФ}$		
T131	75—150—300 μ А	1,5	20 зу— —1 Мэц	3	1—2 Мэц	Термоэлектрический	$r_{\text{вх}} = 10 \text{ кОм/с}$, $C_{\text{вх}} < 15 \text{ нФ}$		
	750—1500 μ А		20 зу— —0,5 Мэц		0,5— —1 Мэц		$r_{\text{вх}} > 1 \text{ МОм}$, $(f = 1000 \text{ зу}) \leq C_{\text{вх}} (10 \text{ м} \text{—} 1 \text{ с}) \leq 25 \text{ нФ}$		
R3—2A	10—30—100— —300 $\text{A}6$	2,5	55 зу— —20 кэц	4	40 зу— —400 кэц	Электронная	$C_{\text{вх}} < 15 \text{ нФ}$ (3—300 с)		
	1—3—10—30— —100—300 μ А			6	20 зу— —1 Мэц		$r_{\text{вх}} = 1 \text{ МОм}$, $K_{\text{им}} < 1 \%$, $C_{\text{вх}} < 10 \text{ нФ}$		
R3—3	10—30—100— —300—1000 μ А	3	50 зу— —20 кэц	5	30 зу— —5 Мэц	Электронная			

Продолжение

Тип прибора	Противошумовое измерение	Погрешность в номинальном режиме измерения, %	Номинальная полоса измерения частот, %	Погрешность в расширенном диапазоне измерений частот, %	Расширенный диапазон измерений частот, %	Система прибора	Дополнительные характеристики		Призначение
							Кни < 1 %	Кни < 4 %	
B3-4	10-30-100-300-1000 МГц	2,5	400 зу- -20 кзц	4	20 зу- -500 кзц- 500 кзц- -5 Мгц	Электронная	$r_{\text{вх}} = 1 \text{ Мом}$, $C_{\text{вх}} < 12 \text{ пФ}$	$K_{\text{ни}} < 1 \%$	
B3-5	0,05-0,1- -0,2-0,5-1- -2-5-10- -20-50-100- -200-500- -1000 МГц	4	40 зу- -500 кзц	10	20 зу- -1 Мгц	Электронная	$r_{\text{вх}} > 600 \text{ кОм}$, ($f = 1000 \text{ зц}$), $C_{\text{вх}} < 12-25 \text{ пФ}$	$K_{\text{ни}} < 4 \%$	
B3-5	0,5-1-2-5- -10-20-50- -100-200 МГц 0,5-1-2-5- -10-20-50- -100-200 з	6	30 зу- -200 кзц	10	5 зу- 1 Мгц	Электронная	$r_{\text{вх}} = 5 \text{ Мом}$, ($f = 400 \text{ зц}$), $C_{\text{вх}} < 25 \text{ пФ}$	$K_{\text{ни}} < 1 \%$ $K_{\text{ни}} < 10 \%$, $V_{\text{внн}} = 3 \%$ $K_{\text{ни}} < 20 \%$, $V_{\text{внн}} = 4 \%$ $K_{\text{ни}} < 100 \%$, $V_{\text{внн}} = 8 \%$	для $f < 20 \text{ кзц}$
B3-7	3-10-30- -100-300- -1000-3000 МГц 1 МГц 10-30-100- -300 з	1,5	100 зу- -3 кзц	2	40 зу- -50 кзц 20 зу- -200 кзц 3 -50 кзц 4 -200 кзц	Электронная	$r_{\text{вх}} = 2 \text{ Мом}$, $C_{\text{вх}} < 25 \text{ пФ}$	$K_{\text{ни}} < 1 \%$	

Приложение

Тип прибора	Принцип измерения	Погрешность в измерении амплитуды в базовом диапазоне, %	Номинальный измерительный диапазон частот, %	Погрешность в расширении измерительного диапазона частот, %	Расширенный измерительный диапазон частот	Система прибора	Дополнительные характеристики		Примечание
							—	—	
B3-9	20-1250 МГц	0,2+ $\frac{0,08}{U_x}$	1000 24- -30 МГц	5	20 24- -200 кГц	—	—	—	Y ₁₀₀ =0,5 K _f , для K _f <15%
B3-12	20-50 МГц 0,1-0,3-1- -3 6	4	100 кГц- -150 МГц	4	40 24- -50 кГц	—	—	—	—
B3-15	0,25-0,5-1- 2,5-5-10- -20-40-100- -200 6	4-6	1 кГц- -100 МГц	6-10	150- -200 МГц —300 кГц	Электронная	r _{nx} >10 кОм, (f=100 МГц), C _{nx} <2 нФ	—	—
B3-19	1-3-10-30- -100-300 Мс 1-3-10-30- -100-300 6	4	50 24- 200 кГц	6	50 24- -1 МГц	Электронная	r _{nx} =1-5 кОм, (f=1 кГц), C _{nx} <2-5 нФ	—	—
BK7-7	1,5-5-15- -50-150 6	2,5	400 24- -25 МГц	6	100- -200 МГц	Электронная	r _{nx} =1 МОм, (f=1 кГц), C _{nx} <15 нФ	—	—

Приложение

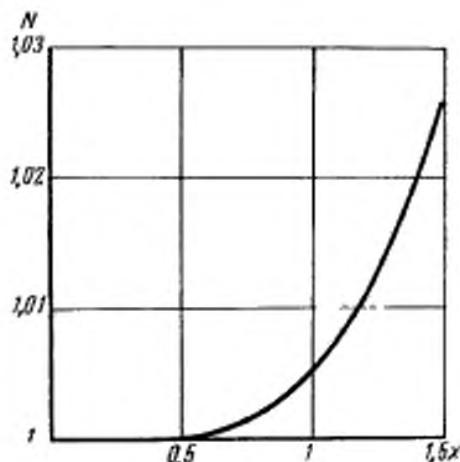
Тип прибора	Принцип измерения	Погрешность в номинальном диапазоне частот, %	Номинальный диапазон частот, %	Погрешность в расширенном диапазоне частот, %	Расширенный диапазон частот, %	Дополнительные характеристики		Примечание
						Система прибора	Система прибора	
Ф506	10—30—100— —300 Гц 1—3—10—30— —100—300 Г	1	20 гд— —40 кГц	2	40 кГц— —60 кГц	$r_{\text{BS}} = 1 \text{ Мом.}$ $C_{\text{BS}} \leq 100 \text{ пФ}$	Электронная	
Ф534	0,3—1—3—10— —30—100— —300 Г	0,5	40 гд— —20 кГц	1	20 гд— —40 кГц	$r_{\text{BS}} = 0,5 \text{ Мом.}$ $C_{\text{BS}} \leq 50 \text{ пФ}$	Электронная	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5 к ГОСТ 12635—67

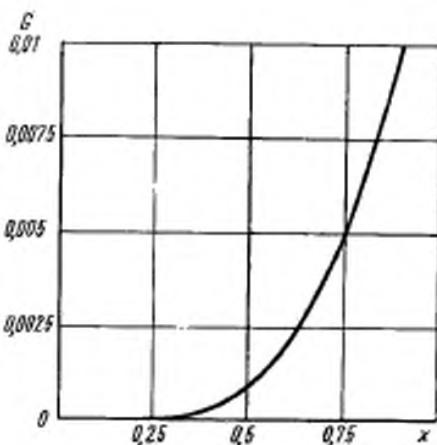
ГРАФИКИ

коэффициентов N , G и K (черт. 1, 2 и 3) и пример
расчета K_{ω} для провода марки ЛЭШО
 $12 \times 0,07$

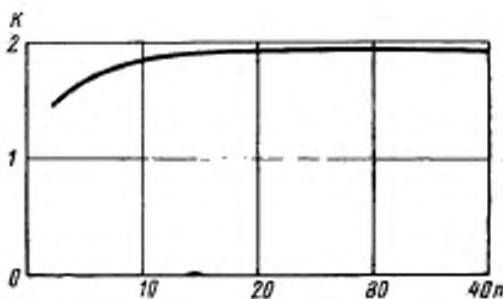
$f, \text{ кг}$	x	N	G	K_{ω}
100	0,25	1,0000	0,00006	1,000
200	0,34	1,0000	0,00020	1,0022
300	0,41	1,0000	0,00035	1,0039
500	0,53	1,0000	0,00122	1,0134
600	0,58	1,0005	0,00175	1,0198
1000	0,75	1,0015	0,00480	1,0543



Черт. 1



Черт. 2



Черт. 3

Редактор Л. И. Горбасова
Техн. редактор С. Н. Кобот
Корректор Н. Л. Хинец

120340

Издательство стандартов. Москва, К-1, ул. Щусева, 4
Сдано в наб. 10/III 1967 г. Подп. к печ. 31/IV 1967 г. 2,5 печ. л. Тир. 10 000
Тип. «Московский печатник». Москва. Лялин пер., 6. Зак. 553